Université Abdelmalek Essaâdi
Département de physique
Tétouan

Année: 08 – 09
SMA / SMI




# TD de Thermodynamique
## Série n° 2

**Exercice n° 1** : (Lundi)

On effectue, de 3 façons différentes, une compression qui amène du $N_2$ (≈ l'air) de l'état 1 ($P_1 = P_o \approx 1$ bar, $V_1 = 3V_o$) à l'état 2 ($P_2 = 3P_o$, $V_2 = V_o \approx 1$ litre).
La première transformation est **isochore** puis **isobare**, la seconde est **isobare** puis **isochore**, la troisième est telle que **P.V = Cte**.

**1°)** Représentez dans le plan P(V) les 3 transformations.

**2°)** Quelles sont les travaux reçus dans les 3 cas ?

**3°)** Quelle transformation choisira -t -on si l'on veut dépenser le moins d'énergie motrice ?

**Exercice n° 2** : (Samedi)

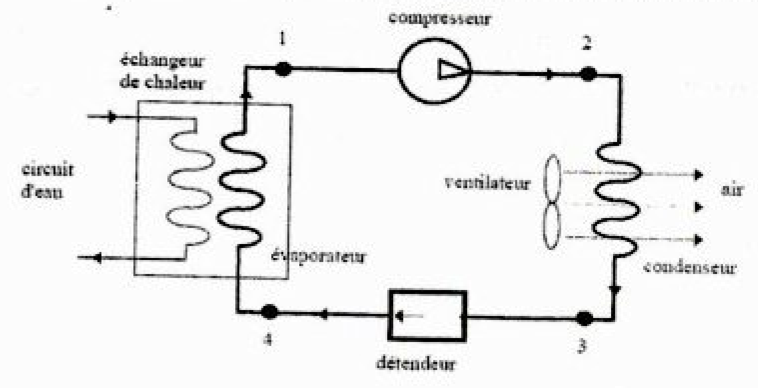
On effectue, de 2 façons différentes, une compression qui amène du $N_2$ (≈ l'air) de l'état 1 ($P_1 = P_o \approx 1$ bar, $V_1 = 3V_o$) à l'état 2 ($P_2 = 3P_o$, $V_2 = V_o \approx 1$ litre).
La première transformation est **isochore** puis **isobare**, la seconde est **isobare** puis **isochore.** On effectue après, une autre transformation en forçant le gaz à revenir à son état initial grâce à une détente **isochore** puis **isobare** de manière à réaliser un **cycle**.

**1°)** Quel est le travail échangé par le gaz avec l'extérieur ?

**2°)** Est-ce qu'un tel cycle nécessite l'apport d'un travail de l'extérieur pour pouvoir être exécuté ?

**Exercice n° 3** : (Lundi)

On effectue l'étude d'un système destiné à réfrigérer de **l'eau**. Le schéma de principe est donné ci-dessous. Le fluide subissant le cycle thermodynamique est du **fréon**. Le circuit est représenté en trait épais.






**1**, **2**, **3**, **4** sont les points du circuit correspondants aux entrées et sorties de chaque élément.

Un ventilateur soufflant de l'air sur le **condenseur** assure le refroidissement du dispositif.

**L'évaporateur** et le **circuit d'eau** sont mis en contact thermique par un **échangeur de chaleur** : La vapeur de fréon sera considérée comme un **gaz parfait**. On désigne respectivement par P et T sa pression et sa température.

Les caractéristiques thermodynamiques du **fréon** sont les suivantes :

Masse molaire : M = 121 g, chaleur latente de vaporisation : $L_V$ = 130 $J.g^{-1}$ à 310 K, $C_p$ du fréon gazeux = 49,9 $J.K^{-1}.mol^{-1}$,

$\gamma$ = 1,2, et R = 8,32 $J.K^{-1}.mol^{-1}$.

- Au point **1** le fréon est totalement gazeux : $P_1 = 1{,}9.10^5$ Pa ; $T_1$ = 272 K
- Au point **2** le fréon est totalement gazeux : $P_2 = 8{,}5.10^5$ Pa ; $T_2$
- Au point **3** le fréon est totalement liquide : $P_3 = P_2$ ; $T_3$ = 310 K
- Au point **4** le fréon est partiellement gazeux : $P_4 = P_1$ ; $T_4$.

**1)** La masse de fréon circulant en un point du circuit en une minute est m = 2,25 kg.

**a)** En déduire le nombre de moles de fréon passant en un point du circuit en une minute.

**b)** Quel volume $V_1$ en litres ces n moles de fréon occupent-elles à l'état gazeux ?.

**2)** On suppose que la transformation réalisée dans le compresseur est **adiabatique réversible**. Calculer le volume $V_2$ occupé par le fréon. En déduire $T_2$.

**3)** Dans le condenseur, le fréon subit un refroidissement à l'état gazeux de $T_2$ à $T_3$, puis une liquéfaction à la température $T_3$.

**a)** Calculer la quantité de chaleur $Q_a$ échangée par le fréon gazeux, en une minute, lors de son refroidissement de $T_2$ à $T_3$. (Préciser le signe de $Q_a$)

**b)** Calculer la quantité de chaleur $Q_b$ échangée par le fréon, en une minute, lors de sa liquéfaction totale. (Préciser le signe de $Q_b$).

**c)** En déduire la quantité de chaleur $Q_{23}$ échangée par le fréon, en une minute, dans le condenseur pour son refroidissement et sa liquéfaction.

**d)** Quel est le signe de $Q_{23}$ ? Que représente ce signe ?

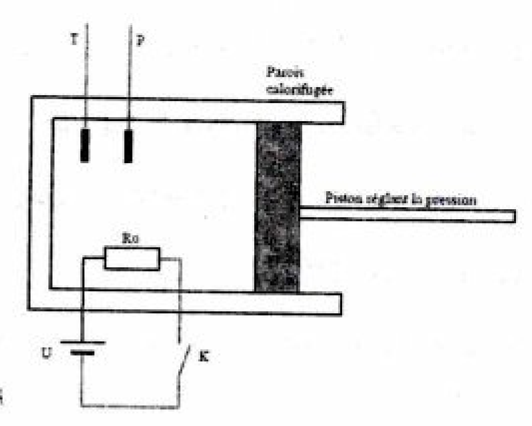
**4)** Dans **l'évaporateur**, la valeur algébrique de quantité de chaleur $Q_{41}$ reçue par le fréon, en une minute, est 240 kJ. En déduire le **débit maximal** de l'eau, si l'on veut abaisser la température de celle-ci de **5°C**. On exprimera ce débit en litres par minute (on donne $c_{eau}$ = 4180 $J.K^{-1}.kg^{-1}$)

**Exercice n° 4 :** (Samedi)





On considère une enceinte calorifugée dans laquelle l'une des parois est un piston. L'ensemble permet d'isoler n moles d'un gaz assimilé à un gaz parfait. Un thermomètre et un capteur de pression sont montés sur l'enceinte. La pression P dans l'enceinte reste constante. Une résistance chauffante constante $R_0$ = 100Ω est disposée à l'intérieur de l'enceinte. Elle est alimentée par un générateur maintenant une tension fixe U = 20V.




On donne : à l'instant initial $T_1$ = 298 K et P = $6{,}2.10^5$ Pa , R = 8,32 $J.mol^{-1}.K^{-1}$, et n = 1 mole

**1)** Calculer le volume $V_1$ occupé initialement par le gaz.

**2)** On ferme l'interrupteur K pendant une durée Δt = 9 min.

**a-** Calculer l'intensité du courant dans le circuit électrique, et l'énergie calorifique Q obtenue par effet Joule.

On admet que cette énergie Q est intégralement reçue par le gaz dont la température est alors $T_2$ = 373K.

**b-** Déterminer $C_p$ (capacité thermique molaire du gaz à pression constante), et le volume $V_2$ du gaz.

**3)** Etude du travail reçu par le gaz :

**a-** Donner l'expression du travail W reçu par le gaz quand il passe de l'état 1 caractérisé par (P, $V_1$, $T_1$) à l'état 2 caractérisé par (P, $V_2$, $T_2$).

**b-** Calculer la valeur numérique de W, et préciser si le travail est moteur ou résistant.

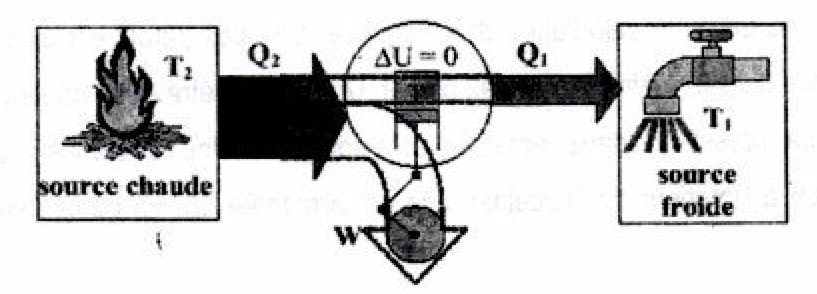
**c-** Calculer la variation d'énergie interne $\Delta U_{12}$ du gaz quand il passe de l'état 1 à l'état 2. En déduire $C_v$.

## Problème :

Une mole de gaz parfait subit les transformations réversibles suivantes : n = 1

- Etat (1 → 2) compression adiabatique
- Etat (2 → 3) dilatation à pression constante
- Etat (3 → 4) détente adiabatique
- Etat (4 → 1) refroidissement à volume constant






Chaque état est défini par la pression $P_i$, la température $T_i$ et le volume $V_i$ (i variant de 1 à 4).

On appelle $\gamma$ le rapport des chaleurs molaires $C_p/C_v$. On définit les rapports $a = V_1/V_2$ et $b = V_4/V_3$.

**1 --** Représenter les transformations du cycle sur un diagramme de Clapeyron *(2pts)*

**2 –** Préciser si le cycle est moteur ou récepteur (1pt)

**3 -** Donner les expressions de la pression, du volume et de la température pour les états (2), (3) et (4), en fonction de $P_1$, $V_1$, $T_1$, a et b *(4pts)*

**4 -** Calculer numériquement ces valeurs *(2pts)*

**5 -** Calculer les travaux et chaleurs échangés pour toutes les transformations subies. Préciser notamment les sources chaude et froide *(2pts)*

**6 -** Donner l'expression du rendement $\eta$ en fonction des travaux et chaleurs échangés *(1pt)*

**7 -** Calculer numériquement $\eta$. *(1pt)*

*Données* : $\gamma = 1,4$ ; $P_1 = 1$ atm ; $a = 9$ ; $T_1 = 27°C$ ; $b = 3$ ; $C_v = 20,8$ J/K.mol

$T_1 = 300K$



# SERIE n° 2

## Exercice 2

P

$P=cte$ $P_2 = 3b$ (2) 1'

$P=cte$ $P_1 = 1bar$ 2' (1)

V

$V_2 = 1\ell$ $V_1 = 3\ell$

$V = cte$

$$W_{totale} = \underbrace{W_{1\to 1'}}_{0} + W_{1'\to 2} + \underbrace{W_{2\to 2'}}_{0} + W_{2'\to 1}$$

car ( $W = -\int P dV$ et $V = cte$ $dV = 0$ )

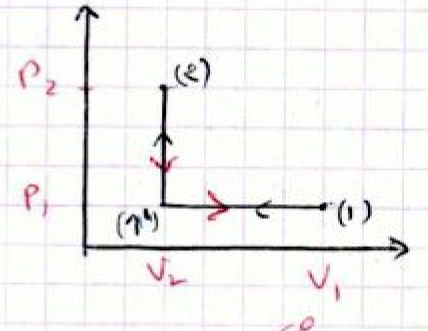
$$= W_{1'\to 2} + W_{2'\to 1}$$

$$= -\int_{1'}^{2} P_2 \, dV - \int_{2'}^{1} P_1 \, dV$$

$$= -P_2(V_2 - V_1) - P_1(V_1 - V_2) = (P_2 - P_1)(V_1 - V_2)$$

$$= 2bars(2\ell) = (2.10^5 Pa).(2.10^{-3} m^3) = 400 J$$

$(3V_0 - V_0)$
$2V_0$
$2.10^{-3}$




$$W_{tot} = W_{1\to 1'} + W_{1'\to 2}^{=0} + W_{2\to 1'}^{=0} + W_{1'\to 1}$$

$$= -P_1(V_2 - V_1) - P_1(V_1 - V_2)$$

$$= 0$$

(2) Le seconde cycle peut être éxécuté sans apport d'un travail de l'extérieur.



27/12/08

## Exercice 4

Selon les données, le gaz est parfait.

(1) $P_1 V_1 = nRT_1$

$\Leftrightarrow V_1 = \frac{nRT_1}{P_1} = \frac{1 \cdot 8,32 \cdot 298}{6,2 \cdot 10^5} = 0,0039 \simeq 0,004 \, m^3 = 4 \, l = V_1$

(2) a) On a $U = R.I$

$\Leftrightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{20}{100} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5} = 0,2 \, A = I$

$E = P.\Delta t = U.I.\Delta t = 20 \times 0,2 \times 9 \times 60$

$E = 2160 \, J$ (La chaleur absorbée par le gaz $= Q$)

b) $Q = n C_p \Delta T$

$C_p = \frac{Q}{n(T_2 - T_1)} = \frac{2160}{1 \times (373 - 298)}$

$C_p = 28,8$

* La pression est cte : $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Leftrightarrow V_2 = \frac{T_2 V_1}{T_1}$

$V_2 = \frac{373 \times 4}{298} \approx 5 \, l$

(3)

a) $W_{1\to 2} = -\int_1^2 P dV = -P dV = -P(V_2 - V_1)$

b) $W_{1\to 2} = -6,2 \cdot 10^5 \times 10^{-3} = -6,2 \cdot 10^2 = -620 \, J < 0$

Donc le travail est résistant.

c) $\Delta U_{12} = Q_{12} + W_{12} = 2160 - 620 = 1540 \, J$

. Pour les gaz parfaits : $\frac{dH}{dT} = \frac{dU}{dT} + nR$

$\Leftrightarrow C_p - C_v = nR$

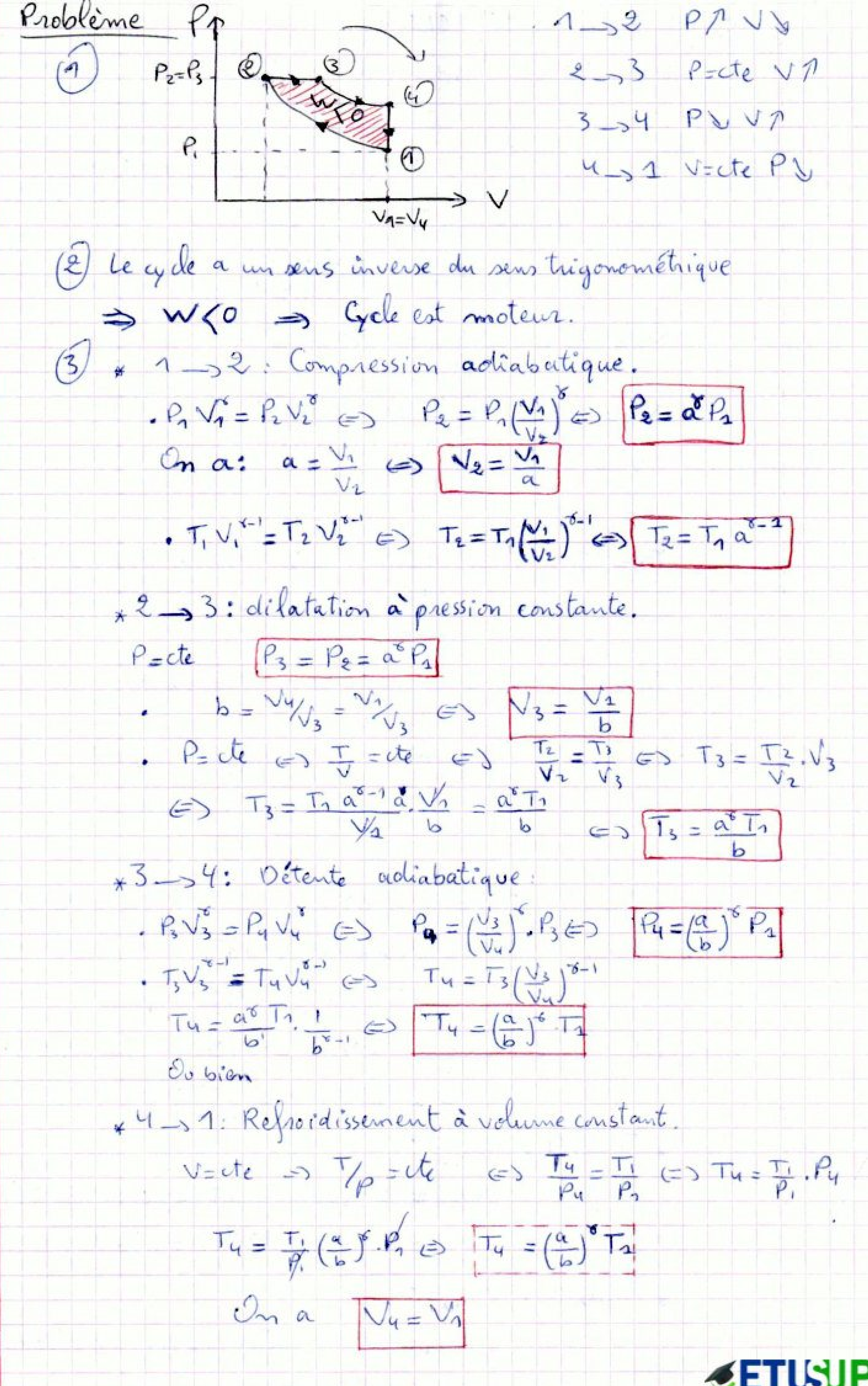
$C_v = C_p - nR$

$C_v = 28,8 - 8,32 = 20,48 \, J/mol.K$

Où bien :

$\Delta U_{12} = n C_v \Delta T$

$C_v = \frac{\Delta U_{12}}{n \Delta T}$



**Problème**

(1)



$1 \to 2$ : $P \nearrow$ $V \searrow$

$2 \to 3$ : $P = cte$ $V \nearrow$

$3 \to 4$ : $P \searrow$ $V \nearrow$

$4 \to 1$ : $V = cte$ $P \searrow$

(2) Le cycle a un sens inverse du sens trigonométrique

$\Rightarrow W<0 \Rightarrow$ Cycle est moteur.

(3) * $1 \to 2$ : Compression adiabatique.

- $P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \iff P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma \iff \boxed{P_2 = a^\gamma P_1}$

On a : $a = \frac{V_1}{V_2} \iff \boxed{V_2 = \frac{V_1}{a}}$

- $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \iff T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \iff \boxed{T_2 = T_1 a^{\gamma-1}}$

* $2 \to 3$ : dilatation à pression constante.

$P = cte$ $\boxed{P_3 = P_2 = a^\gamma P_1}$

- $b = V_4 / V_3 = V_1 / V_3 \iff \boxed{V_3 = \frac{V_1}{b}}$
- $P = cte \iff \frac{T}{V} = cte \iff \frac{T_2}{V_2} = \frac{T_3}{V_3} \iff T_3 = \frac{T_2}{V_2} \cdot V_3$

$\iff T_3 = \frac{T_1 a^{\gamma-1} a}{V_1} \cdot \frac{V_1}{b} = \frac{a^\gamma T_1}{b} \iff \boxed{T_3 = \frac{a^\gamma T_1}{b}}$

* $3 \to 4$ : Détente adiabatique :

- $P_3 V_3^\gamma = P_4 V_4^\gamma \iff P_4 = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^\gamma \cdot P_3 \iff \boxed{P_4 = \left(\frac{a}{b}\right)^\gamma P_1}$
- $T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1} \iff T_4 = T_3\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1}$

$T_4 = \frac{a^\gamma T_1}{b} \cdot \frac{1}{b^{\gamma-1}} \iff \boxed{T_4 = \left(\frac{a}{b}\right)^\gamma T_1}$

Ou bien

* $4 \to 1$ : Refroidissement à volume constant.

$V = cte \Rightarrow T/P = cte \iff \frac{T_4}{P_4} = \frac{T_1}{P_1} \iff T_4 = \frac{T_1}{P_1} \cdot P_4$

$T_4 = \frac{T_1}{P_1}\left(\frac{a}{b}\right)^\gamma \cdot P_1 \iff \boxed{T_4 = \left(\frac{a}{b}\right)^\gamma T_1}$

On a $\boxed{V_4 = V_1}$

④ * $P_1 = 1\,atm = 10^5 . 1{,}01325 Pa$

$P_2 = a^\gamma P_1 = 9^{1,4} . 1{,}013 . 10^5 = 22 . 10^5 \, Pa$

$P_3 = P_2$

$P_4 = P_1 \left(\frac{a}{b}\right)^\gamma = 1{,}01325 . 10^5 \times 3^{1,4} = 4{,}71 . 10^5 \, Pa$

* On a $P_1 V_1 = nRT_1$

$V_1 = \frac{nRT_1}{P_1} = \frac{8{,}32 \times 300}{1{,}01325 . 10^5} = 0{,}024 \, m^3 = V_4$

$V_2 = \frac{V_1}{a} = \frac{0{,}024}{9} = 0{,}002 \, m^3$

$V_3 = \frac{V_1}{b} = \frac{0{,}024}{3} = 0{,}008 \, m^3$

$V_4 = V_1$

* $T_1 = 300 \, K$

$T_2 = T_1 a^{\gamma - 1} = 300 . 9^{1,4-1} = 300 . 9^{0,4} = 722{,}46 \, K$

$T_3 = \frac{a^\gamma T_1}{b} = \frac{9^{1,4} . 3 . 100}{3} = 2167{,}4 \, K$

$T_4 = \left(\frac{a}{b}\right)^\gamma T_1 = 3^{1,4} . 300 = 1396{,}66 \, K$

⑤ * $1 \rightarrow 2$ : $Q_{12} = 0$ , $W_{12} = \Delta U_{12} = n C_v \Delta T$

$= n C_v (T_2 - T_1)$

$= 8787 \, J$

* $2 \rightarrow 3$ : $Q_{23} = n C_p \Delta T = n C_p (T_3 - T_2) = n \gamma C_v (T_3 - T_2)$

$(C_p = \gamma . C_v)$ $\quad = 1{,}4 \times 20{,}8 \, (1445)$

$Q_{23} = 42076 \, J = 42 \, KJ$

$(P_2 = P_3)$ $\quad . \, W_{23} = - P_2 \Delta V = - P_2 (V_3 - V_2) = -22 . 10^5 (0{,}006)$

$= -13200 \, J = -13{,}2 \, KJ$

* $3 \rightarrow 4$ : $Q_{34} = 0$

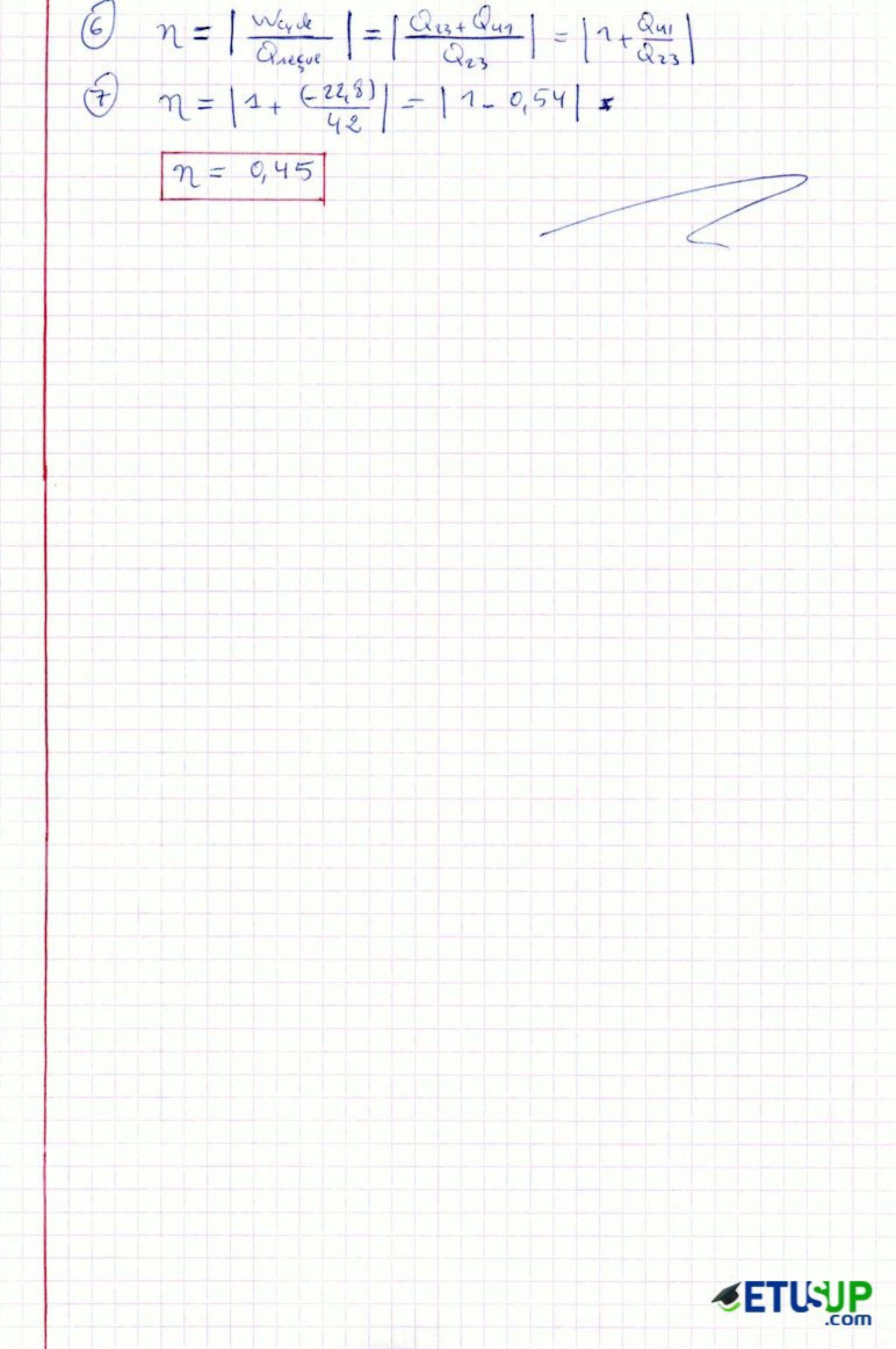
$W_{34} = \Delta U_{34} = n C_v \, dT = 20{,}8 (T_4 - T_3)$

$= 20{,}8 (-770{,}74) = -16{,}.. \, KJ$

* $4 \rightarrow 1$ : $W_{41} = 0$

$Q_{41} = \Delta U_{41} = n C_v (T_1 - T_4) = 20{,}8 (300 - 1396{,}6)$

$= -22{,}8 \, KJ$



(6) $\eta = \left| \frac{W_{cycle}}{Q_{reçue}} \right| = \left| \frac{Q_{23} + Q_{41}}{Q_{23}} \right| = \left| 1 + \frac{Q_{41}}{Q_{23}} \right|$

(7) $\eta = \left| 1 + \frac{(-22,8)}{42} \right| = \left| 1 - 0,54 \right|$ *

$\boxed{\eta = 0,45}$


ETUSUP.com